

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-195085

(P2003-195085A)

(43) 公開日 平成15年7月9日(2003.7.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード(参考)
G 0 2 B 6/16		G 0 2 B 6/16	2 H 0 5 0
C 0 3 B 37/12		C 0 3 B 37/12	A

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2002-367666(P2002-367666)

(22) 出願日 平成14年12月19日(2002. 12. 19)

(31) 優先権主張番号 10/027067

(32) 優先日 平成13年12月20日(2001. 12. 20)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 302003314

ファイテル ユーエスエー コーポレーション

Fitel USA Corp.

アメリカ合衆国 30071 ジョージア, ノ
アクロス, ノースイースト エクスプレス
ウェイ 2000

(74) 代理人 100064447

弁理士 岡部 正夫 (外10名)

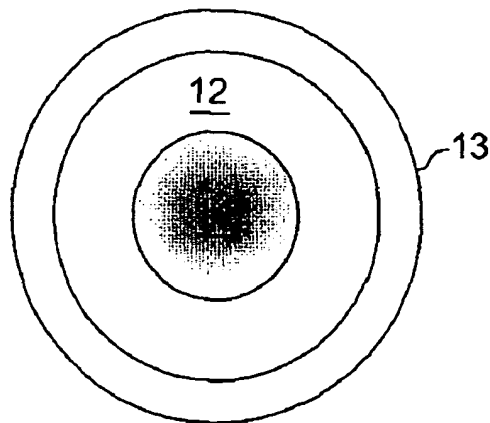
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 帯域幅が広がったマルチモード光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 帯域幅が広がったマルチモード光ファイバを提供すること。

【解決手段】 本明細書は、引き伸ばしの際のツイストを使用した、ファイバ帯域を広げるための円形コアマルチモード光ファイバを引き伸ばすための技法について記述したものである。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 ツイスト（撓れ）が加えられた本質的に円形のコアを有するマルチモード光ファイバを備えた物品であって、光ファイバの1メートル当たりのツイストが少なくとも1つである物品。

【請求項2】 ツイストが、時計方向のツイストと反時計方向のツイストの間で交番する、請求項1に記載の物品。

【請求項3】 光ファイバの1メートル当たりのツイストが少なくとも4つである、請求項2に記載の物品。

【請求項4】 コアの楕円率が6%未満である、請求項2に記載の物品。

【請求項5】 マルチモード光ファイバを製造するための方法であって、

(a) コアおよびクラッドを有し、コアの楕円率が6%未満である、マルチモード光ファイバプリフォームを準備するステップと、

(b) プリフォームを加熱するステップと、

(c) プリフォームから光ファイバを引き伸ばすステップと、

(d) ステップ(c)の間、引き伸ばされた光ファイバにツイストを施すステップとを含む方法。

【請求項6】 ツイストを施すステップが、時計方向のツイストを施すステップと、反時計方向のツイストを施すステップの間で交番する、請求項5に記載の方法。

【請求項7】 ツイストを施すステップが、引き伸ばされるファイバ1メートル当たり少なくとも1つのツイストを施すステップである、請求項6に記載の方法。

【請求項8】 ツイストを施すステップが、引き伸ばされるファイバ1メートル当たり少なくとも4つのツイストを施すステップである、請求項7に記載の方法。

【請求項9】 光ファイバが石英系ファイバである、請求項5に記載の方法。

【請求項10】 クラッドの直径に対するコアの直径の比率が少なくとも0.2である、請求項5に記載の方法。

【請求項11】 コアの直径が少なくとも30ミクロンである、請求項10に記載の方法。

【請求項12】 ツイストを施すステップのスピンの周波数が f であり、 f がステップ(d)の間に変化する、請求項5に記載の方法。

【請求項13】 ツイストを施すステップのスパインパターンが非正弦曲線である、請求項5に記載の方法。

【請求項14】 スピンプターンがステップ(d)の間に変化する、請求項5に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、帯域幅が広くなったマルチモード光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】 最新技術のマルチモード光ファイバの製造には、様々な電力損失および信号減損メカニズムに対する制御が必要である。マルチモードファイバの場合、重要な目標は、モード分散を制御することである。

【0003】 良く知られているように、光ファイバ内では、データビットは光パルスによって表されている。各光パルスは、ファイバの長さに渡って移動する際に、常に拡散すなわち分散することになる。これらのデータパルスがオーバーラップすると、もはや受信端で明瞭に読み取ることができなくなる。データパルスがオーバーラップする傾向を小さくすることが、ひいてはデータの伝送容量を大きくする、すなわち帯域を広げることになる。したがって最終的には、光ファイバの帯域は、分散によって制限されている。

【0004】 分散を支配している形態は、色分散およびモード分散である。色分散については良く知られており、あらゆる光ファイバシステムで生じている。モード分散すなわち相互モード分散は、主として、コア径が大きく、光が移動するための極めて多数の光路が可能なマルチモード光ファイバで生じている。一般的には光路が異なると、その長さが異なっている。モードは様々な長さの経路に沿って移動するため、異なる時間間隔でファイバ端に到達することになり、その時間差が十分に大きい場合、より速く経路を移動するパルスが、先行するパルスとオーバーラップすることになる。

【0005】 マルチモード光ファイバの帯域は、相互モード分散を最小化することによって最適化されている。この最適化は、一般的には、クラッドの外側領域からコアの中心に向かって屈折率が徐々に増加するグレーデッドインデックス（屈折率）プロファイルを使用して実現されている。信号は、クラッド近傍の低屈折率領域では高速で移動し、コアの中心に近い高屈折率領域では低速で移動している。

【0006】 マルチモード光ファイバでは、モード分散は、差別モード遅延（DMD）と呼ばれている。最新技術のシステムに使用するための光ファイバの製造仕様は、DMDに対する厳格な要求事項を有している。所与の光ファイバコア半径内におけるDMD仕様は、マスク幅と呼ばれている。例えば、コア半径が18ミクロン以内で、DMDが 0.23 ps/m 未満のファイバは、 0.23 ps/m 未満の半径18ミクロン以内のマスク幅を有するファイバと呼ばれている。また、これは、 $MW18 < 0.23 \text{ ps/m}$ として表されている。これらのマスク幅仕様は、850nmにおける有効モード帯域（EMB）が2000MHz-kmの光ファイバに対応しており、これらのマスク幅仕様に合致する光ファイバは、通常、1300nmにおいて、500MHz-kmを超える過剰帯域を有している。850nmおよび1300nmは、マルチモード光システムに対する典型的な選択波長である。これらの仕様に合致するマルチモード

光ファイバの製造が困難であることが分かっている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ショートレンジの屈折率変化するなわち乱れ（パーティション）が、光ファイバを縦走するすべてのモードに対する伝送距離を平均化する効果を有するモード混合をもたらしていることは知られている。不利なDMDに対処するべく、モード混合を強化するための技法が当分野の技術者によって模索されている。その1つが、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、Di Giovanni他による2001年5月1日出願の米国特許出願第847,034号に記載されている。その手法によれば、ファイバコアは非円形であり、光ファイバは、引き伸ばしの際に、ツイストされている。その結果、帯域が著しく広がっているが、マルチモード光ファイバ帯域には、常にさらなる改善が要求されている。

【0008】

【課題を解決するための手段】我々は、現在の帯域のニーズを満足し、かつ、将来の高速イーサネット（登録商標）プロトコルに対する合致を約束するマルチモード光ファイバを開発した。従来の製品、例えば上で参照した特許から、マルチモード光ファイバにおけるショートレンジの屈折率変化するなわち乱れによって、モード混合を強化することができることが分かっている。これらの乱れは、高品質光ファイバにおいてさえ、固有「欠陥」として存在している。我々は、これらの乱れが至る所に現われる性質であることを認識し、かつ、最大限に有効なものにするためには、ファイバを縦走する様々なモードの経路長に沿って、これらの乱れをランダム化すべきであることを認識した。我々はこの認識に基づいて、光ファイバを引き伸ばす際に、光ファイバにツイストを加えることにより、本質的に円形と見なされるコアを備えたマルチモード光ファイバのDMDを小さくすることができることを立証した。以下、本発明について、図面に照らして極めて詳細に説明する。

【0009】

【発明の実施の形態】図1を参照すると、コア11およびクラッド12を備えた典型的なマルチモード光ファイバ構造が示されている。13は、標準的な重合体、典型的にはアクリレート重合体の保護被覆を示している。

【0010】光ファイバのマルチモード特性は、コア11の相対サイズ、およびコアの中心から外側への屈折率変化の陰影表示によって表されている。マルチモードファイバには、3つの共通するタイプがあり、ミクロン単位のコア／クラッド径で定義されている。

50/125-FDDI標準；データ通信向け

62.5/125-局所データ通信（および北米で使用されている最も優勢なマルチモードファイバ）向けFDDI標準

100/140-光結合効率および曲げ感度が重要な専

用アプリケーション向けに設計されたもの

【0011】一般的な前提として、マルチモードファイバは、0.2、典型的には0.4より大きいコア／クラッド径比率を有している。これは、コア／クラッド径比率が典型的には0.1未満である単一モードファイバと比較することができる。単一モードファイバのコアが典型的には10ミクロン未満であるのに対し、マルチモードファイバのコア自体は、典型的には30ミクロンより大きくなっている。

【0012】図2は、DMDを小さくするためのモード混合のメカニズムを示したものである。図2は高度に理想化した表現あり、本発明のこの態様を現象的に理解するために示したものに過ぎないことを理解すべきである。図2の参照番号21は、光ファイバのコアを示している。実線で示すモードAと、ダッシュ線で示すモードBの2つのモードが示されている。伝搬方向は、図に向かって右方向である。モードAは、図の左側に示すコア外部の近傍から伝搬を開始し、モードBは、コアの中心近くから伝搬を開始している。これらの相対モード伝搬パターンが、ファイバの長さに渡って継続する場合、モードAがモードBより相当長い距離を移動することになることは容易に理解されよう。線図の中心の参照数表示Xで示す領域は、モード混合が発生する領域である。モード混合は、実際にはファイバの全長に渡って発生し、一方のモードから他方のモードへエネルギーが結合される。このエネルギー結合が、上で言及した乱れによって強化されることになる。図のXにおけるモード混合の概略表現によれば、モードAは、この後、コアの中心に近いモードに結合し、モードBは、コアの外側に近いモードに結合することになる。この線図は高度に理想化されているが、モードがファイバの長さに沿って絶えず結合するなわち混合する場合、長距離に渡る長さLをすべてのモードが移動する平均距離が如何にして等しくなるかについて、うまく説明されている。実際の環境においては、モードグループ内およびモードグループ間の両方でモード混合が発生する。マルチモード光ファイバのモード結合の考察については、参照により本明細書に組み込まれる文献、R. Olshansky著「Review of Modern Physics」(Vol. 51(2)、pp. 341-367(1979年))を参照されたい。

【0013】本発明による光ファイバの引伸しに有用な光ファイバプリフォームは、MCVD、PCVD、OV DおよびVADを始めとする、知られている様々な技法によって製造することができる。好ましい技法はMCVDである。MCVDでは、正確に制御された化学製品の混合物が、回転する純石英ガラス管の内部を流れている。石英管は、トーチによって外部加熱されている。石英管を流れるガスが反応し、溶着トーチの近傍に高純度石英粒子が形成される。形成された高純度

石英粒子は、下流側の石英管の内部壁に付着する。石英管の内部壁に付着した高純度石英粒子は、高温加熱され、純透明石英に固化される。次に石英管がコラプスされ、光ファイバを引き伸ばす状態になる。

【0014】広義には、本発明は、DMDが改善されたマルチモード光ファイバを製造する新規かつ簡便な方法、およびそれによって得られる製品、すなわち改良型光ファイバ自体の中に具体化されている。より詳細には、本発明による方法には、従来の光ファイバプリフォームを提供するステップ、光ファイバプリフォームの少なくとも一部を従来の引伸し温度に加熱するステップ、およびファイバにスピンの加えられるやり方で加熱プリフォームから光ファイバを引き伸ばすステップが含まれている。ファイバのスピンの、ファイバを引き伸ばしている間、すなわち軟化ガラス状態において、ファイバにその縦方向の軸の周りに、ガラスのねじれ変形によるツイストが施されるように、ファイバにトルクを印加することによって生成される。軟化ガラスが冷めると、ファイバが永久「スピン」すなわち永久ねじれ変形を示すように、ねじれ変形がファイバ中で凍結される。このような凍結スピンの存在は、例えばM. J. Marrone 10 他Optics Letter (Vol. 12 (1), p. 60) に使用されているような移動磁気-光学変調器によって容易に探知することができる。

【0015】凍結スピンと関連しているのは、ピッチ、すなわちスピンのファイバに沿って反復する距離である。ピッチは、1メートル当たりのツイストの単位で表され、本発明の場合、1メートル当たり少なくとも4ツイストである。

【0016】本発明の好ましい実施形態では、ツイストは、左巻きツイストと右巻きツイストが交互になっている。つまり、縦軸に対してファイバが時計方向に回転し、次に反時計方向に回転している。このファイバの回転は、完全な360度回転であり、したがって例えば1メートル当たり4ツイストが指定された場合、各方向に対して2.5回転が必要である。これにより、右巻きツイストに続く左巻きツイストとして定義されるキラル構造のファイバが生成されている。ツイストが反転する周期は、上で言及したように、1メートル当たりのツイストで表されるか、あるいはツイスト間のファイバ長の単位で表される。例えば1メートル当たり5ツイストのファイバの場合、20cmのツイスト（すなわちキラル）周期を有することになる。ツイストは、実際には、引き伸ばしの際にプリフォームを回転させるか、あるいは引き伸ばしの際に、引き伸ばされる（凝固される）ファイバを回転させることによって付与されている。典型的には、時計方向のツイスト数と反時計方向のツイスト数は同じであるが、各方向に対して、異なる数のツイストを使用することも同様に有利である。ツイストを時計方向と反時計方向の間で交互にすることが望ましいが、連続 50

ツイスト、すなわち時計方向または反時計方向のいずれかの方向におけるツイストを使用して、同様の利点を実現することも可能である。

【0017】ファイバを前後にツイストする効果により、さらに、コアに沿って移動する所与のモードに生じる乱れがランダム化され、それによりすべてのモードグループのすべてのモードに、最大量のモード結合が理想的に生じている。ランダムツイスト周期を使用すること、つまり、ファイバを引き伸ばす際のツイスト回数を変化させることが好ましい。これは、ランダム乱れを使用して、より有効なモード混合を予測する、知られている理論と一致している。例えば、S. C. Rashleighの「J. of Lightwave Technology」(Vol. LT-1 (2), pp. 312~331)を参照されたい。特に、320ページに、次のように記述されている。

【0018】「...、複屈折乱れの実際の分布 $f(z)$ に無関係に、2つの偏光固有モードを結合することができるのは、唯一、周波数が b_i のスペクトル成分のみである。モードは、それ以外のすべてのスペクトル成分によっては有効に結合しない。」

【0019】パラメータ b_i は、ファイバの真性複屈折であり、 $F(b_i)$ は、 $f(z)$ のフーリエ変換である。乱れ $f(z)$ は本質的にランダムであるため、一定ピッチスピンによっては、有効なモード結合を得ることはできないとして理論化されている。一方、非一定ピッチスピン、特に正および負のヘリシティを交互に有するスピンには、有効な結合を生成する空間成分が含まれている可能性がある。比較的高いスピン空間周波数の領域だけでなく、比較的低いスピン空間周波数の領域からなる可変空間周波数のスピンを使用することによって、強力な結合を得ることができる。つまり、例えばスピンの正と負のヘリシティの間で交番する場合がそうである。

【0020】図3の線図は、本発明によって有利にランダム化することができる空間乱れを示したもので、図23は、光ファイバの断面を示している。矢印24は、縦方向の乱れを表し、矢印25は、方位乱れを表し、また、矢印26は、半径方向の乱れを表している。米国特許出願第847,034号(DiGiovanni他の52-4-1-16)では、モード混合を強化するために楕円コア構造が使用されている。ファイバにツイストを施すことによって、ファイバコアに沿ったあらゆるランダム移動に対する光路長を等しくしているが、我々は、コアが円形のファイバの場合、他の乱れ、例えば方位変化をランダム化することにより、ツイストによってDMDが改善されることを認識した。本発明の場合、円形コアは、6%未満の楕円率を有するコア幾何学を包含することを意図している。

【0021】また、本発明は、円形コアおよびクラッドからなり、コアの有効屈折率がコアを覆っているクラッド

ド材の有効屈折率より大きく、さらに、コアが本発明によるキラル構造を含む石英系光ファイバ自体の中に具体化されている。キラル構造は、以下で説明する方法で光ファイバ引伸し装置を改修することによって生成される。

【0022】図4は、光ファイバ引伸し装置を示したもので、プリフォーム31、およびガラスプリフォームを軟化させ、ファイバの引伸しを起動するために使用される炉（図示せず）を代表するサセプタ32を備えている。33は、引き伸ばされたファイバを示している。初期のファイバ表面が、一括して34で示す、被覆プレポリマー36が入ったチャンバ35を有する被覆カップを通過する。流体被覆ファイバが被覆チャンバからダイ41を通して排出される。被覆の厚さは、ダイ41とプレポリマーの流体力学の組合せによって制御されている。ファイバおよび被覆を同心状に維持するためには、ファイバを被覆カップ内の中心、特に出口ダイ41内の中心に置くことが重要である。出口ダイ中の流体力学上の圧力自体が、ダイ中におけるファイバの心出しを促進している。続いてプレポリマー被覆ファイバ44が紫外線ランプ45に露光され、プレポリマーが硬化して被覆プロセスが完了する。それが適切である場合、他の硬化放射を使用することもできる。ファイバは、被覆が硬化すると次にリールアセンブリを通過し、そこでファイバが整列、引込み、および巻き取られ、スプール56に貯蔵される。ファイバを引き込むための駆動手段は、巻取りスプールであっても良いが、キャプスタン54であることが好ましい。リール51～53は、完成したファイバを整列させ、処理するためのガイドリールである。キャプスタン54によって提供される引伸し力および回転速度が、光ファイバの引伸し速度を決定している。典型的な引伸し速度は、1～20メートル/秒である。ファイバは、キャプスタン54から個別に駆動巻取りスプール56へ導かれる。マイクロステップインデクサ（図示せず）によって制御されるステップモータが、巻取りスプールを制御している。

【0023】図4に示す構造が、多くの適切な構造の1つに過ぎないことは、当分野の技術者には認識されよう。

【0024】典型的な光ファイバ用被覆材は、紫外線光イニシエータが添加されたウレタン、アクリレート、あるいはウレタン-アクリレートである。図4に示す装置は、単一の被覆カップを備えているが、一般的には被覆カップを2つ備えた複式被覆装置が使用されている。二重被覆ファイバの典型的な一次すなわち内部被覆材は、シリコン、ホットメルトワックスなどの柔らかい低弾性係数材であり、あるいは比較的弾性係数の小さい多くの重合体材料の中の任意の材料である。二次すなわち外部被覆に広く使用されている材料は、高弾性係数重合体、典型的にはウレタンあるいはアクリル製品である。商用

実践においては、両材料は、低弾性係数アクリレートおよび高弾性係数アクリレートである。被覆の厚さの範囲は、典型的には直径150～300 μm であり、標準的には約240 μm である。

【0025】従来の引伸し装置では、ファイバは、本質的に少なくとも炉内の起点とキャプスタンとの間を単一平面内で移動しており、ファイバにはツイストは故意に加えられていない。図4のリールの略上面図である図5を参照されたい。

【0026】本発明によれば、スピニングがファイバに加えられるように、ファイバにトルクが加えられる。原理的には、ファイバがファイバに触れるべく十分に冷却した下流側の任意のポイント（巻取りの前）でトルクを印加することができるが、露出したファイバとの物理的な接触は避けなければならない。したがって、トルクは、硬化ステーションから下流側のポイントで、典型的には第1のガイドローラによって有利に加えられている。

【0027】我々は、非接触ピッチのツイストがファイバに加えられるように、間欠的なトルクをファイバに印加することができることを見出した。好ましい実施形態では、この間欠的なトルクの印加は、図5のガイドローラ51の配向を変化させることによって実現されている。一例として、例えば引伸しタワーの軸に平行な方向の周りに、角度 θ だけローラを傾斜させることによって実現されている（図6参照）。ローラ51を図6に示すように傾斜させることにより、この構造の場合に自動的に生じる横方向の力に応じて、ファイバがローラ上で前後に揺動することになる。より詳細には、横方向の力がファイバに対するトルクになり、そのトルクによってファイバがローラ511上で横方向に揺れ、それにより、図5に示す（非傾斜）装置のファイバが画定する平面を外れてファイバが移動する。横方向の揺れが、従来の引き伸ばしの動きに重畳していることについては理解されよう。ファイバの横方向の動きによって、ファイバの横方向変位の増加と共に増加する、（必ずしも正確である必要はないが、実質的に）ファイバを平面内に跳ね返す復元力が、反対方向への横揺れを直ちに開始するためにのみ生じているものと思われる。図6のローラ511に隣接する双方向矢印は、この非対称の前後の動きを表している。横揺れ時のファイバの角回転速度は、なにかんづく傾斜角 θ の関数である。したがって、ファイバに加えられるスピニングのピッチも、傾斜角 θ の関数である。例えば、ある適切な引伸し装置によってもたらされる平均ピッチは、 $\theta = 7^\circ$ および $\theta = 15^\circ$ に対してそれぞれ14cmおよび7cmである。ピッチは、なにかんづく引伸しタワーの構成および高さ、引伸し速度、引伸し張力、および被覆材の粘度によって決まるため、これらの値が一例に過ぎないことは理解されよう。

【0028】上で説明した例では、ファイバにスピニングが加えられているだけでなく、実質的に等しくかつ対向す

る（一般的に弾性のある）ツイストが巻取りファイバ中に導入されていることが、当分野の技術者には認識されよう。このようなファイバは、目的（例えば、比較的長さの短いファイバしか必要としないセンサ用など）によっては許容されるが、不要な弾性ツイストを避けることが望ましい場合がしばしばである。適切に再巻取りを施すことによって弾性ツイストを除去することができるが、弾性ツイストの導入を実質的に避けることが好ましい。これは、以下で説明するように、時計方向および反時計方向のトルクを交互にファイバに強制することによって実現することができる。

【0029】図7に示すガイドローラ512を、ファイバを引き伸ばす方向に平行な軸（典型的には、引伸シタワの軸と同じ軸）の周りに揺動させることによって、正および負のスピンを交互にファイバに印加することができる。また、巻取りスプール上のファイバに実質的にねじり弾性ひずみが生じないように、結果として生じるファイバ上の正および負の弾性ツイストを実質的に相殺することができる。任意の適切な手段、例えば偏心駆動手段（図示せず）によって、図7に示すガイドローラ512を前後に揺動させることができる。図8は、代替構造の概略を示したもので、ガイドローラ513は、図には示されていないが、従来の適切な手段によって軸方向を前後に移動し、時計方向および反時計方向のトルクを交互にファイバに印加している。

【0030】図9および10は、ツイスト円形コアファイバ対非ツイスト円形コアファイバの850nmファイバ帯域を比較した実験データを示したものである。図9に示すデータは、同じ装置および同じ引伸しプロセスを使用して引き伸ばされたファイバに対するデータである。また、図10に示すデータは、同様に、同じ装置および同じ引伸しプロセスを使用して引き伸ばされたファイバに対するデータであるが、装置は、図9のデータを得るために使用した装置とは異なっている。この実験は、なかんずく得られた定性結果が引伸し装置には無関係であることを示している。

【0031】図9を参照すると、円61を有する曲線および五角形63を有する曲線が、本発明による、引き伸ばしの際にツイストが施されたファイバに対する曲線である。これらのファイバのツイスト周期は6.7cmである。公称コア楕円率は5%未満である。正方形62を有する曲線は、引き伸ばしの際にツイストが施されていないファイバと本質的に同じファイバに対する帯域データを示している。同様に、図10では、円65を有する曲線が、本発明による、引き伸ばしの際にツイストが施された、6.7cmのツイスト周期を有するファイバに対するデータを示している。曲線66および67は、ツイストが施されていない同様のファイバに対するデータを示している。すべてのファイバの公称コア円形率は、5%楕円率未満である。

【0032】以上から理解されるように、本発明は、高品質プリフォーム、すなわち極端なコア偏心率すなわち楕円率などの欠陥のないプリフォームから引き伸ばされる光ファイバの伝送特性の改善を対象にしている。これらの明らかに欠陥の比較的少ないプリフォームから引き伸ばされる光ファイバを、ツイストを使用して改善することができる、という観察は、思いも寄らない観察である。これらのプリフォームのコアは、典型的には、プリフォームを高品質として類別するための前提条件である極めて小さい楕円率を有している。コアの楕円率は、コアの周囲の異なる場所で2つ以上の直径測値を取り、それらを比較することによって測定することができる。6%未満の変化、好ましくは3%未満の変化が、円形コアを表すものとして考慮されている。発見された効果、すなわち一様性および完全性が明らかに高いプリフォームから引き伸ばされた光ファイバの帯域拡大は、明確性に欠ける乱れ、例えば方位変化によるものと思われる。

【0033】上で示したように、引き伸ばしの際にプリフォームにツイストを施すことによって、あるいは引き伸ばしの際に、引き伸ばされるファイバにツイストを施すことによって、光ファイバにツイストすなわちキラル構造を付与することができる。これらの代替の各々は、「引伸し操作の際に、引き伸ばされるファイバにツイストを施す」等の語句で定義すべきことを意味している。

【0034】また、既に示したように、本発明に従って典型的に処理されることになる光ファイバは、石英系光ファイバである。石英系とは、一般的に光ファイバ中のガラスの少なくとも65%が二酸化ケイ素（SiO₂）であることを意味している。

【0035】上で説明したツイストは比較的一定である。つまり、ファイバ引き伸ばしの際に、同じツイスト動作がファイバの全長に渡って付与されている。マルチモードファイバにおけるDMDの実質的な短縮を促進することができる、補助的なランダムメカニズムがある。ファイバにツイストを付与するために使用されるツイスト化メカニズムには、いくつかの特性がある。ここで注目すべき2つの特性は、スピン周波数すなわち1メートル当たりのツイスト数、および時間に対するスピンの変化率であるスピン速度関数である。これらの特性の各々をランダム化し、DMD特性をさらに改善することができる。スピン周波数は、例えば1メートル当たり1~10ツイストの間でランダムに変化させることができる。任意の間隔、例えば10メートルの間隔を選択し、1つの10メートルセグメントのツイストを4つにし、別の10メートルセグメントのツイストを7つにする等々、といった具合に選択することができる。単純なランダム数プログラムを使用して制御することができる。同様にスピン速度関数をランダムに変化させることもできる。スピン速度関数は、軸方向のツイスト化パターン、すなわち時間依存スピン角速度と等価である。既に示したよ

うに、スピンは、1メートルまたは2メートル毎にその方向が交番するため、周期的にスピンの角速度がゼロを交差している。典型的なパターンは概ね正弦曲線であるが、スピンのパターンを変化させ、より大きなランダム性を提供することもできる。最高角速度のドウェルを有する概ね台形のパターンは、このようなパターンの1つである。その他の非正弦曲線スピンパターンを使用することも可能である。また、引き伸ばしの際にスピンパターンを変化させ、ランダム性をさらに追加することもできる。

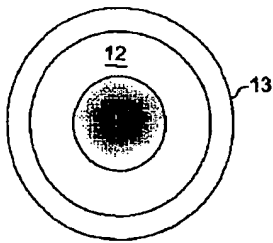
【0036】当分野の技術者には、本発明に対する様々な追加変更が可能であろう。技術の進歩をもたらした本発明の原理およびその等価物を基本的に利用した、本明細書の特定の教示からのすべての逸脱物は、正式に、上で説明し、かつ、特許請求する本発明の範囲内であるものと見なすものとする。

【図面の簡単な説明】

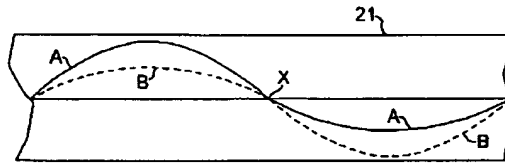
【図1】本発明に従って製造することができるマルチモード光ファイバの略図である。

【図2】一定の長さの光ファイバに沿った理想化モード

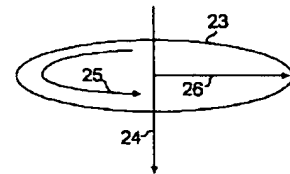
【図1】



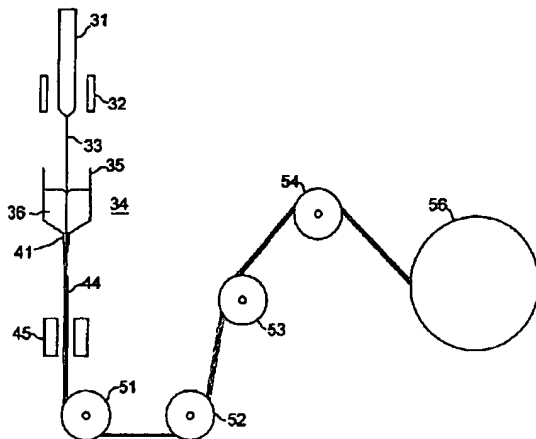
【図2】



【図3】



【図4】



伝送を示す線図である。

【図3】光ファイバのガラス材に潜在する3つのタイプの空間非一様性を示す線図である。

【図4】本発明との使用に適した光ファイバ引伸し装置の略図である。

【図5】図4に示す装置のガイド部分の略上面図である。

【図6】本発明を実践するために使用することができるガイド手段の略上面図である。

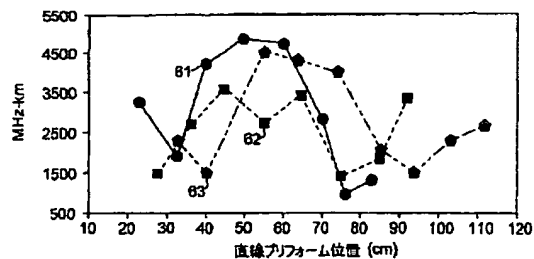
10 【図7】本発明を実践するために使用することができるガイド手段の略上面図である。

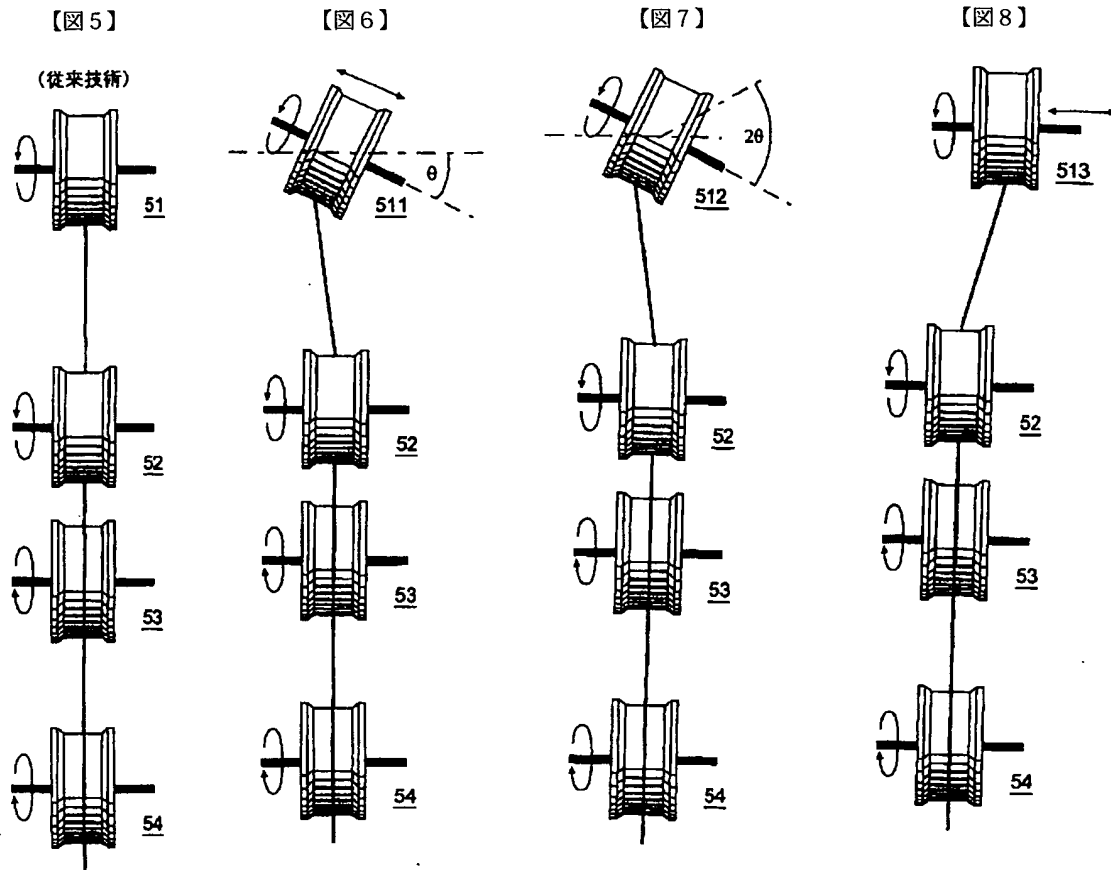
【図8】本発明を実践するために使用することができるガイド手段の略上面図である。

【図9】本発明によるスピン処理が施された光ファイバと、スピン処理が施されていない光ファイバの帯域を比較した測値データを示すグラフである。

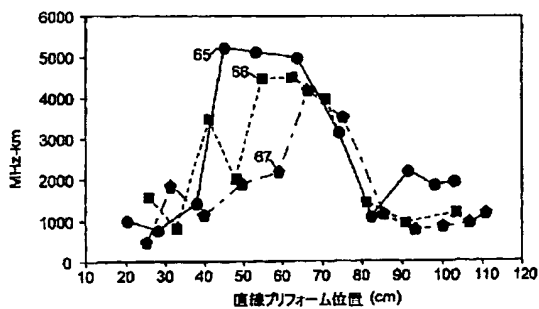
【図10】本発明によるスピン処理が施された光ファイバと、スピン処理が施されていない光ファイバの帯域を比較した測値データを示すグラフである。

【図9】





【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 ディヴィッド ジョン デギオヴァンニ
アメリカ合衆国 07042 ニュージャージー
ィ, モントクライア, モントクライア ア
ヴェニュー 126

(72)発明者 フランク ヴィンセント デマーセロ
アメリカ合衆国 08801 ニュージャージー
ィ, アナンデル, ハーマン ザウ ロー
ド 25

(72)発明者 シンリ ジアン
アメリカ合衆国 01545 マサチューセッ
ツ, シュルウスバリー, ハイ ストリート
26

(72)発明者 ジョージ イー. オーランドセン
アメリカ合衆国 01007 マサチューセッ
ツ, ベルチャータウン, チェリル サーク
ル 62

(72)発明者 サンデーブ プラブハーカー パンディト
アメリカ合衆国 01550 マサチューセッ
ツ, サウスブリッジ, ワーセスター スト
リート 555, アパートメント 113

F ターム(参考) 2H050 AB03Z AC03 AC05 AC76
AC84 AD01